



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Uku Põllu**

**PÄRNU KOOSTOOTMISJAAMA PÕHISEADMETE  
ANALÜÜS**

ANALYSIS OF THE MAIN DEVICES OF PÄRNU  
COGENERATION PLANT

Bakalaureusetöö  
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: Lauri Hänni, *MSc*

Dotsent Toivo Kabanen, *PhD*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Uku Põllu		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Pärnu koostootmisjaama põhiseadmete analüüs			
Lehekülgi: 42	Jooniseid: 11	Tabeleid: 11	Lisasid: 1
Osakond / Õppetool: Energeetika			
Uurimisvaldkond:			
ETIS: 4. Loodusteadused ja tehnika/ 4.17 Energeetikaalased uuringud			
CERCS: T140 Energeetika			
Juhendajad: Lauri Hänni, Toivo Kabanen			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Tootmisettevõtetal on tähtis maksimaalne efektiivsus ning tootmiskulude minimeerimine, et tootmisüksus teeniks maksimaalset kasumit. Käesolevas bakalaureusetöös analüüsitakse Pärnu koostootmisjaama tootmisseadmete efektiivsust ning otsitakse võimalusi kuidas oleks võimalik analüüsitavate seadmete opereerimiskulusid või üldiseid seadme kulusid vähendada.</p> <p>Töö alguses on antud ülevaade koostootmisjaama üldistest parameetritest. Seejärel on kirjeldatud jaama tootmissüsteemi ning kasutusel olevaid tehnoloogiaid. Antud töös valiti analüüsimiseks viis Pärnu koostootmisjaama seadme süsteemi. Iga seadme kohta koguti võimalikult palju informatsiooni nagu nimiparameetrid, seadmete tööolukorra parameetrid ning analüüsitavate seadmetega seotud süsteemide parameetrid. Tööparameetrite andmed on kogutud 2020 aasta kevadest 2021. Aasta kevadeni ning nende põhjal koostatud seadme tööpiirkonna graafikud. Seadmete puhul on pakutud välja optimeerimisvõimalused või kohad, kust oleks saanud kulusid kokku hoida või oleks võimalik tootlikust tõsta. Töö viimases osas on tehtud kokkuvõtlik analüüs, kus kirjeldatakse töö tulemusi, seadmete optimeerimisvõimalusi ning arvutatud reaalne rahaline kokkuhoid rakendatavatele optimeerimisvõimalustele.</p>			

Seadmete analüüsis selgus, et protsentuaalselt ka väike energiakulu kokkuhoid, võib pikemas perspektiivis säästa tootmiskuludelt väga suuri summasid. Töös on leitud, et rakendatud suuremate optimeerimisvõimaluste tulemusena, säästetakse omatarbekuludelt, vastavalt seadmele, 11 000 – 31 000 eurot aastas. Väiksemate optimeerimisvõimaluste puhul, kus energiakulu protsent vähenes ligikaudu 4%, säästetakse umbkaudu 3400 eurot. Lisaks leiti võimalus, kus oleks olnud võimalik säästa projekteerimiskuludelt 15 000 eurot, võimalus tõsta ühe seadme tootlikust ja seade mis ka peale optimeerimist vajaks välja vahetamist.

Antud töö teema on üsna aktuaalne ning rakendatav peaaegu igas tootmisettevõttes. Töö käsitleb küll üsna vähesel hulgal parendusettepanekuid, kuid rakendades töös kirjeldatud metoodikat on võimalik leida erinevates tootmisüksustes kulude vähendamise võimalusi.

Märksõnad: Energia, efektiivsus,

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Uku Põllu		Curriculum: Engineering	
Title: Analysis of the Main Devices of Pärnu Cogeneration Plant			
Pages: 42	Figures: 11	Tables: 11	Appendixes: 1
Department / Chair:			
Field of research and (CERC S) code:			
ETIS: 4. Natural Sciences and Engineering/ 4.17 Energetic research			
CERCS: T140 Energy research			
Supervisors: Lauri Hänni, Toivo Kabanen			
Place and date: Tartu 2021			
<p>For most manufacturing plants, maximised efficiency and reducing production costs is essential, so the plant can earn maximum profit. The aim of this bachelor thesis, is to analyse Pärnu cogeneration plants main production devices, their efficiency and different ways to reduce devices production- or overall cost.</p> <p>The first chapter of this bachelor thesis describes overall parameters of Pärnu cogeneration plant. Thereupon, powerplants production system and used technologies are described. For this bachelor thesis, five production devices from Pärnu cogeneration plant were chosen for analysis. For each device, as much information as possible was gathered. Gathered information contained nominal parameters, parameters while device is in operation and device related system parameters. The gathered parameters, while the device is in operation, were collected over a period equivalent of a year. Different scatter plots were composed, using gathered measurements. For each device a possible optimization option is offered and described where money could be or could have been saved or where production could be increased. Last chapter is summary analysis, where thesis results and optimization alternatives are described and actual financial saving for applicable or already applied optimization options are calculated.</p>			

Device analysis concluded, that even a small percentage of energy saving can financially save a lot of money from production costs in long perspective. Thesis shows that major applied optimization options, can save, depending on the device, up to 11 000-31 000 euros a year. Minor optimization options reduced energy usage about 4% and could save, about 3400 euros a year. In addition, this thesis found a way, where 15 000 euros could have been saved from design and construction costs, an option, which would increase the production and a device which even after an optimization, eventually needs to be replaced.

The topic of this bachelor thesis is very timely and can be applied in almost any manufacturing industry. Thesis suggests only few optimization possibilities, but if methodology used in this thesis is applied in other, different manufacturing plants, similar or new optimization options could be found to reduce production costs.

Keywords: Energy, efficiency

# SISUKORD

<b>SISSEJUHATUS</b> .....	8
<b>1. PÕHIPROTSESSI KIRJELDUS</b> .....	9
1.1. Pärnu koostootmisjaam .....	9
1.2. Koostootmine .....	9
1.3. Pärnu koostootmisjaama tööprotsess.....	10
1.4. Keevkihtkatel.....	10
1.5. Auru ja sooja vee tootmine .....	11
1.6. Juhtimis- ja jälgimissüsteemid .....	11
1.6.1. Profibus ja Profidrive.....	13
<b>2. ANALÜÜSITAVAD SEADMED</b> .....	14
2.1. Primaarõhu ventilaator .....	14
2.1.1. Tööpõhimõte ja parameetrid.....	14
2.1.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond.....	15
2.1.4. Võimalused optimeerimiseks .....	16
2.2. Sekundaarõhuventilaator .....	17
2.2.1. Tööpõhimõte ja parameetrid.....	17
2.2.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond.....	18
2.2.4. Võimalused optimeerimiseks .....	20
2.3. Retsirkulatsioonigaasi ventilaator.....	21
2.3.1. Tööpõhimõte ja parameetrid.....	21
2.3.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond.....	22
2.3.4. Võimalused optimeerimiseks .....	23
2.4. Suitsugaasi imeja .....	24
2.4.1. Tööpõhimõte ja parameetrid.....	24
2.4.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond.....	25
2.4.4. Võimalused optimeerimiseks .....	25
2.5. Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumbad .....	26
2.5.1. Tööpõhimõte ja parameetrid.....	26
2.5.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond.....	26
2.5.4. Võimalused optimeerimiseks .....	27
<b>3. TÖÖ TULEMUSED JA ANALÜÜS</b> .....	30
3.1. Primaarõhu ventilaator .....	30
3.2. Sekundaarõhu ventilaator .....	31

3.3. Retsirkulatsiooni ventilaator .....	32
3.4. Suitsugaasi imeja .....	33
3.5. Kaugkütte soojusvaheti kondensaadi pumbad.....	34
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>35</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS.....</b>	<b>37</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>39</b>

## SISSEJUHATUS

Energia säästmine on tänapäeva tööstustes oluline komponent tootmiskulude vähendamiseks. Suurt tööstust on algsel projekteerimisel keeruline optimeerida ning tihti peale selguvad võimalused optimeerimiseks alles hiljem. Käesolev bakalaureusetöö käsitleb Pärnu koostootmisjaama põhiseadmete efektiivsus- ja tootmiskulude analüüsi.

Töö eesmärgiks on analüüsida Pärnus asuva koostootmisjaama valitud põhiseadmete efektiivsust. Saadud tulemuste põhjal on võimalik teha parendusettepanekuid ning analüüsida, kui palju oleks võimalik opereerimiskuludelt säästa. Töös on toodud välja seadmeid, millele on hiljuti teostatud optimeerimine ning nende puhul on välja toodud omakulude vähenemine. Kuna seadmed opereerivad erinevat moodi, erinevate parameetrite järgi ning erinevatel eesmärkidel, siis võivad olla seadmete optimeerimisvõimalused väga erinevad.

Töö esimeses osas on kirjeldatud koostootmisjaama ning selle tööprotsessi. Selgitatud on kasutusel olevaid tehnoloogiaid ning juhtimissüsteemi. Töö teine osa annab ülevaate uuritavate põhiseadmete tööpõhimõttest, parameetritest, seadmete tööpiirkonnast ning optimeerimisvõimalustest. Kolmas osa koosneb kokkuvõtlikust analüüsist, kus kirjeldatakse töötulemusi, parendusettepanekuid ning on arvatud ligikaudne omakulude vähenemine rahaliselt, kui rakendatakse välja toodud optimeerimisvõimalusi.

Siinkohal sooviksin tänu avaldada AS Fortum Eesti Pärnu koostootmisjaama meeskonnale ja eriti arendusinsenerile Lauri Hännile, kes leidis aega juhendada käesolevat lõputööd ning oli nõus jagama ettevõtte tootmistulemusi ning töös käsitletavate seadmete informatsiooni.



# 1. PÕHIPROTSESSI KIRJELDUS

## 1.1. Pärnu koostootmisjaam

Pärnu elektrijaam on biomassil töötav koostootmisjaam, mis asub Pärnu linnas. Jaam valmis 2010. aasta novembris. Koostootmisjaam kasutab elektri ning soojuse tootmiseks kohalikke biokütuseid nagu hakkepuitu ja kohalike ettevõtete puidu jääke. Elekter müüakse *Nordpool* börsile ja soojus tarnitakse kaugküttevõrgu abil tarbijatele. Kaugküttevõrgu pikkus on ligi 90 kilomeetrit ning tarbijaid on peaaegu 18 000. Iga-aastane elektrienergia tootlus on ligikaudu 170 GWh ning soojusenergia tootlus 220 GWh. [1]

**Tabel 1.1.** Koostootmisjaama üldandmed [1]

Elektrigeneraator	24 MW
Kaugküte	45+5 MWth
Kütus	Hakkepuit
Aastane elektri tootmine	170 GWh/a
Aastane sooja tarbevee tootmine	220 GWh/a
Jaama maksumus	86 miljonit eurot

## 1.2. Koostootmine

Töös käsitletav jaam on koostootmisjaam. Koostootmine (ingl - *CHP - cogeneration of heat and power*) on protsess, mille käigus toodetakse ühe seadmega mehaanilist- ja soojusenergiat. Protsessi käigus toodetud soojusenergiat kasutatakse erinevates tehnoloogilistes protsessides. Sellisteks protsessideks võivad olla tarbevee soojendamine ning ruumide kütmine. Koostootmise käigus tekkinud mehaaniline energia muundatakse elektriks. See tähendab, et jaamas toodetakse samaaegselt soojust ja elektrit, mis suunatakse tarbijatele. [2]

### **1.3. Pärnu koostootmisjaama tööprotsess**

Esimene etapp tootmises on kütuse vastuvõtt. Veoautodelt laaditakse hakkepuidu koormad mahalaadimispunktis otse konveierile, kust kütus läbib sõelumisprotsessi ning liigub siis ühte kahest hakkepuidu mahutist koostootmisjaama territooriumil. Kummagi mahuti maht on umbkaudu 3000 m<sup>3</sup> ning seal ladustatakse hakkepuitu. Transportimisel kasutatakse kettkonveiereid.

Konveierid transpordivad mahutitest hakkepuidu väiksemasse mahutisse ehk päevasilosse. Päevasilosse transportimisel puistatakse automaatse süsteemiga konveieril olevale hakkepuidule peale purustatud lubjakivi. Lubja eesmärk on tõsta tuha sulamistemperatuuri, et vältida katla soojusvahetuspindade saastumist. Päevasilost transporditakse kütus jaoturisse, kus mõõdetakse kütuse hulka ja seejärel suunatakse kütus kahe tigukonveieriga keevkihile. [1][2]

### **1.4. Keevkihtkatel**

Kütuse põlemine katelseadmes on kütusesse akumulunud keemilise energia vabastamine põlemisreaktsioonide kaudu. Peamised parameetrid ja nõuded, mida jälgitakse kütuse põlemise puhul, on kolde kasutegur ja minimaalne välist keskkonda mõjutavate ühendite emissioon. Kindlasti on vajalik ka jälgida näiteks küttepindade saastumist ja korrosiooni, mis võib mõjutada küttepindade soojusülekannet. [3]

Antud juhul räägime madalatemperatuursest, tahkekütuse põletustehnikaga katlast, ehk keevkihtkatlast, mille kolde temperatuur jääb ligikaudu 850°C juurde. Kolle on katelseadme osa, kus toimuvad kütuse põlemisreaktsioonid. Keevkihtkatlas juhitakse koldesse primaarõhk, mis hoiab liivakihti mullitamas. Keevkihis olev liiv on suure soojusmahtuvusega. Kütusena kasutatakse katlas hakkepuitu. Hakkepuu kukub koldesse ja keevkiht hoiab hakkepuidu tükke pidevas liikumises ja pöörlemises, mille tulemusena põleb kütus täielikult. [3]

Keevkiht tehnoloogiat eelistatakse peamiselt sellepärast, et kolde madal temperatuur hoiab ära küttepindade kiire korrodeerumise, küttepindu on lihtsam puhastada kergesti eemaldatavate puistsadestiste tõttu. Madala temperatuuri tõttu pole karta tuha sulamist ja kolde šlakkumist. Madal põlemistemperatuur koldes ja tsirkuleeriv tuhamass seovad efektiivselt väävlit ja vähendab lämmastikuheite teket. [3] [4]

## **1.5. Auru ja sooja vee tootmine**

Auru ja sooja vee tootmise süsteem koosneb paljudest osadest. Näiteks läbivoolumahuti, aurutrummel, tühjendus- ja õhutussüsteem, ökonomaiser ning aurülekuumendid. Auru ja sooja vee tootmise süsteemi peamiseks ülesanneteks on kuumutada ja aurustada vajalikku tarbevett ning tekitada auru, mis läheb kaugküttevõrgu varustamiseks ja elektrienergia tootmiseks.

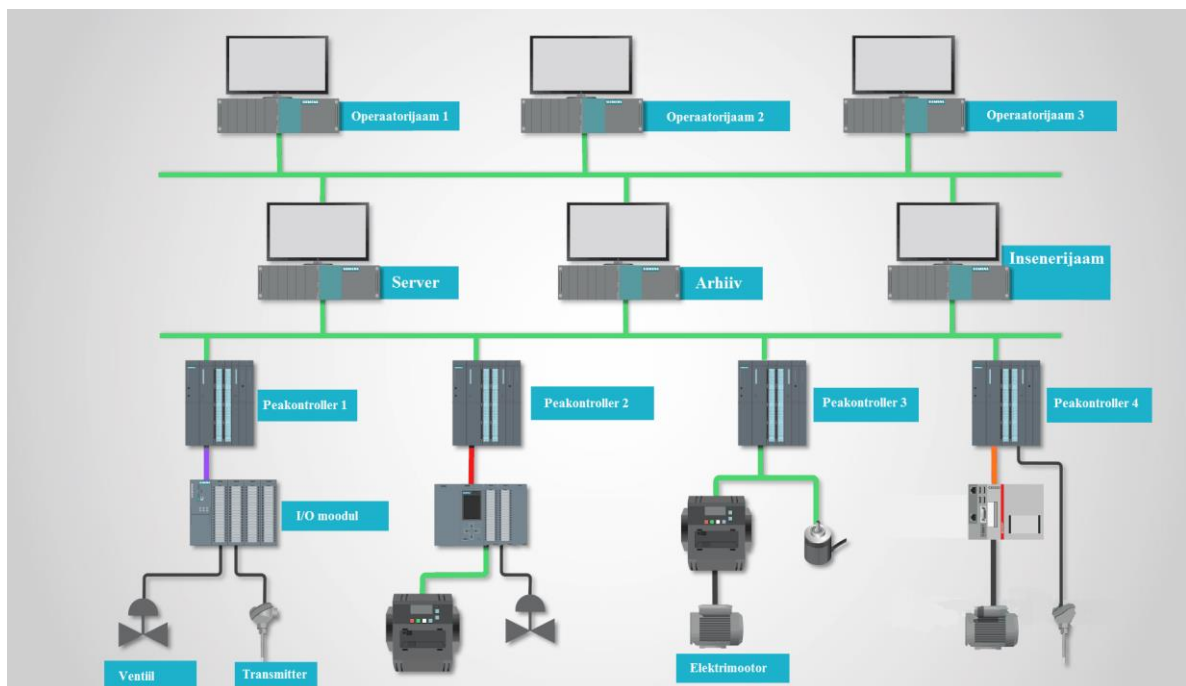
Auru tootmise protsess saab alguse toiteveemahutist, kus esmalt liigub vesi toiteveemahutist läbi ökonomaiseri katla kohal asuvasse aurutrummlisse. Ökonomaiseris saab vesi oma esmase soojuse. Aurutrumlist liigub vesi katlas asuvasse torudesse, kus toimub vee aurustumine. Aur liigub aurutrummlisse, kus on sees vee ja auru segu. Vesi, mis ei aurustunud, läbib aurutrumli ja läheb uuesti aurustamisele. Aur juhitakse aurülekuumenditesse ning temperatuuri ja rõhu reguleerimiseks läbib aur kolm ülekuumendit. Peale ülekuumendite saavutab aur temperatuur 525°C i ja rõhu 115 bari. Ülekuumendites reguleeritakse auru parameetreid, pritsides demineraliseeritud vett auru sekka ning jahutades sellega vajadusel auru temperatuuri.

## **1.6. Juhtimis- ja jälgimissüsteemid**

Jaam kasutab juhtimiseks *DCS* ehk *distributed Control system*, mis eesti keelde tõlgituna tähendab hajutatud juhtimissüsteem ehk juhtimine on jaotatud mitmesse sektsiooni. Seda tüüpi süsteemi kasutatakse pidevate ja keerukate ülesannete puhul ning neil on integreeritud juhtimissüsteem. See tähendab, et süsteemi valmistaja varustab kõik seadmed ja ka

juhtimiseks vaja mineva tarkvara. Selle tulemusena on antud tüüpi juhtimissüsteem väga töökindel, kuna seadmed ja programm on integreeritud. Seega oht, et ühenduste vahel tekib viga, on palju väiksem. Suurtes tootmisjaamades on seda tüüpi süsteem kasulik, kuna ühe sektsiooni seiskumisel jäävad teised sektsioonid tööle, mitte ei seisku terve tootmine. [5]

Juhtimine algab juhtimispuldist, mis on süsteemi süda. Juhtimispuldis on võimalik operaatoril jälgida kogu jaama tööprotsessi ja saada teavitusi hoiatustest ja alarmidest tootmisprotsessis. Andmed jõuavad juhtimispulti läbi serverite ja arhiivide. Tänu sellele on võimalik koostada *trend*-e, mis on programmis koostatud andmegraafikud, kus on võimalik võrrelda eelnevaid protsessi näitajaid. Lisaks varustab peakontroller servereid ja arhiive kogutud andmetega. Andmed jõuavad kontrolleritesse jaama anduritest, täituritest, mootori kaitsekontrolleritest, sagedusmuunduritest, autonoomsetest kontrolleritest ja teistest analoog- ja digitaalsignaali allikatest. Andmeedastuseks kasutatakse 4-20 mA ja 0-10 V analoogsignaale ning Modbus, Profibus ja HART andmeedastust. DCS süsteemi on lihtsustatud kujul näidatud joonisel 1.2. [5]



**Joonis 1.2.** Hajutatud juhtimissüsteemi lihtsustav skeem näitena [5]

Operaatori jaamad üks, kaks ja kolm on juhtpaneelid, kus operaator saab muuta tööprotsessi välja seadmetel. Serverid ja arhiivid talletavad ja koguvad andmeid. Inseneri jaamast on

võimalik muuta riistvara konfiguratsioone, teha või muuta seadmete tööülesannete loogikat ning teostada üldist administratsiooni. Peakontrolleri eesmärk on juhtida individuaalseid protsessoreid ja digitaalsisend- või väljund mooduleid. Lisaks sooritavad peakontrollerid neile määratud loogikaülesandeid, et kontrollida tööprotsessi. Operaatorijaamad, serverid, arhiivid, insenerijaamad ning peakontrollerid on tavaliselt ühendatud tööstusliku *ethernet*iga. *Ethernet* on lokaalvõrgu ehk *LAN* tehnoloogia, mis ühendab piiratud maa-alal (näiteks hoones või tööstuses) asuvaid arvuteid, servereid ja muid võrguseadmeid. Kui *etherneti* ühendused lähevad liiga pikaks, võib teatud juhtudel kasutada ka valguskaableid andmete edastamiseks. [5]

### **1.6.1. Profibus ja Profidrive**

Profibus on müüjast sõltumatu tööstuslik arvutivõrk, mis on loodud erinevate eesmärkide sooritamiseks tööstustes ja automaatsetes protsessides. Täpsemalt on sagedusmuundurite juhtimiseks kasutusel Profidrive kommunikatsiooni süsteem. Profidrive on standardiseeritud profiil Profibus ja Profinet kommunikatsiooni süsteemis. Profidrive on võimeline juhtima tavapärastest sagedusmuunduritest kuni kõrge jõudlusega servokontrolleriteni [6]. Pärnu koostootmisjaamas kasutatakse Profibus protokolliga sagedusmuundurite, *Simcode SE* mootorikaitse releede juhtimiseks ning hajutatud juhtimissüsteemi ja autonoomsete kontrollerite vaheliseks suhtlemiseks.

## 2. ANALÜÜSITAVAD SEADMED

### 2.1. Primaarõhu ventilaator

#### 2.1.1. Tööpõhimõte ja parameetrid

Primaarõhu ventilaatori ülesanne on reguleerida põlemisprotsessi. Ventilaatori ülesanne on transportida lisanditevabu gaase, antud juhul siis õhku. Primaarõhu ventilaator hoiab liiva keevkihti „mullitamas“.

Ventilaatorid töötavad tsentrifugaal tööpõhimõttel. See tähendab, et õhk imetakse sissevõtuavast sisse ning labade pöörlemise tõttu ventilaatoris surub tsentrifugaaljõud õhu väljalaskeavast välja.

Primaarõhu ventilaatori tiiviku pöörlema panemiseks kasutatakse asünkroon elektrimootorit Siemens 1LA8357-4PM80-Z nimivõimsusega 480 kW [7]. Tegemist on IE2 efektiivsusklassiga elektrimootoriga, mille efektiivsus on 95,1% [8].

**Tabel 2.1.1.** Primaarõhu ventilaatori elektrimootori nimesilt [7]

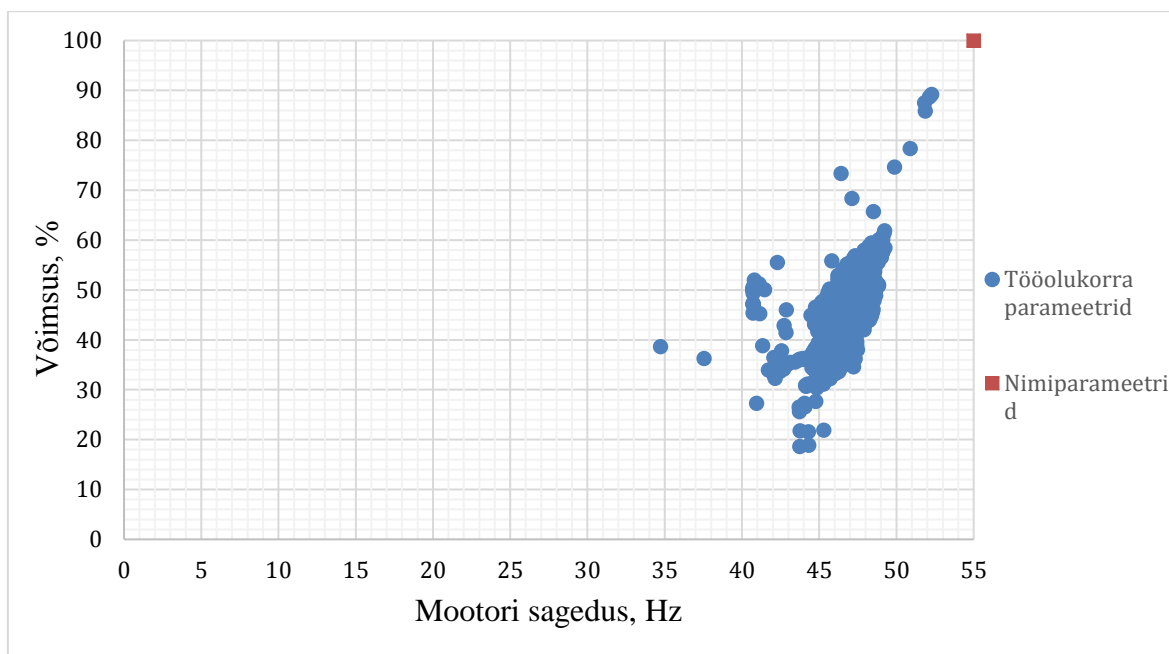
V	Hz	A	kW	cosφ	1/min
690 Y	50	480	480	0,87	1488
400 Δ		830			

**Tabel 2.1.2.** Primaarõhu ventilaatori nimiparameetrid [7]

<b>Tihedus</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1,129
<b>Õhuvoolu maht</b> (m <sup>3</sup> /s)	16,2
<b>Rõhk</b> (Pa)	18046
<b>Võlli võimsus</b> (kW)	337,6
<b>Ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1592
<b>Maksimaalne ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1800
<b>Sisseimetava õhu temperatuur</b> (°C)	+30

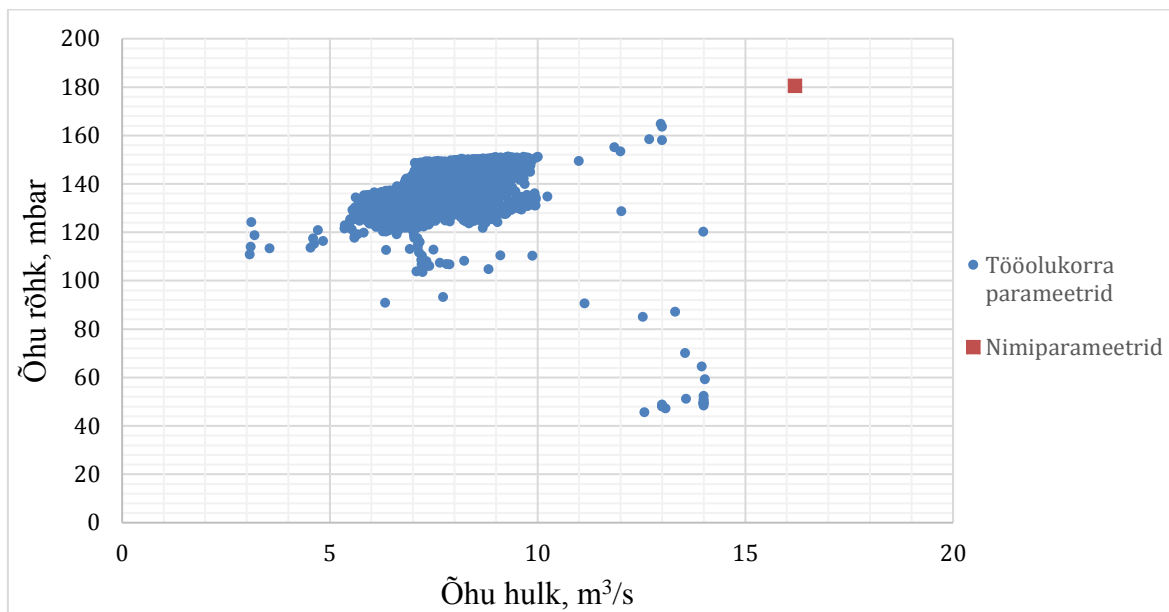
### 2.1.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond

Primaarõhu ventilaatori elektrimootor on mõeldud töötama nimisagedusel 50 Hz (Tabel 2.1.1.), kuid reaalsuses töötab mootor pidevalt madalamal kui 50 Hz. Järgnevalt on koostatud graafik, mis näitab seadme kiirust ja sellele vastavat võimsust erinevatel aegadel. Andmed on kogutud aastase perioodil mai 2020 kuni mai 2021.



**Joonis 2.1.1.** Primaarõhu ventilaatori võimsuse ja kiiruse seadesuuruse punktgraafik tööolukorras.

Ruut tähistab jooniselt 2.1.1. olukorda, kus seade töötab nimiparameetritel. Antud tööolukorras töötab mootor 100% võimsusega rakendades ventilaatorile 337,6 kW sagedusel 55 Hz. Joonisel 2.1.1. on näha, et primaarõhu ventilaator töötab enamjaolt 30-60% võimsuse vahemikus ja mootori sagedus on vahemikus 40-49 Hz. Seega ei kasuta seade oma täielikku potentsiaali.



**Joonis 2.1.2.** Primaarõhu ventilaatori rõhu ja õhu hulga punktdiagramm tööolukorras.

Joonisel 2.1.2. näidatud ruut tähistab nimiolukorda õhu hulga ja rõhu suhtes. Antud punktis on rõhu väärtus 180,46 mbari ning õhu hulk  $16,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (tabel 2.1.2.). Jooniselt on näha, et suurem punktipilv jääb rõhu vahemikku 100-150 millibari ning õhu kulu vahemikku 5,2-10,1  $\text{m}^3/\text{s}$ . Joonised 2.1.1. ja 2.1.2. näitavad, et primaarõhu ventilaator kasutab väga väikest osa oma nimivõimsusest.

#### 2.1.4. Võimalused optimeerimiseks

Üldiselt ei ole primaarõhu ventilaatoriga otsest probleemi, kuid projekteerimiskuludel oleks olnud võimalik antud seadme puhul kokkuhoida. Antud juhul ei kasuta primaarõhu



ventilaator oma täielikku potentsiaali ning selle võrra oleks projekteerimisel saanud asendada antud seade palju odavama ja väiksema seadmega.

Kui antud seade läheks väljavahetamisele, siis on mõistlik luua statistika mootori tööpiirkonnast sarnaselt joonistele 2.1.1 ja 2.1.2. See annaks ülevaate millistel parameetritel mootor peamiselt töötab ning saadud tulemuste põhjal on lihtsam valida sobilik seade. Pikemas perspektiivis on mõistlik valida kõrgema efektiivsusklassiga mootor nagu näiteks IE4 või uurida varsti turule tuleva *Ultra premium efficiency* reluktants sünkroon mootorite kasutamist, mille efektiivsusklass on IE5. Näiteks pakub ABB *ultra-premium* SynRM ehk reluktants sünkroon mootoreid, millel lubatakse 50% väiksemat energiakadu ja märkimisväärselt väiksemat energiatarbimist võrreldes IE2 induktsioon mootoritega. [9]

## 2.2. Sekundaarõhuventilaator

### 2.2.1. Tööpõhimõte ja parameetrid

Sekundaarõhu ventilaator juhib leegile õhku, mis tagab kütuse lõpliku põlemise. Sekundaarõhu ventilaatorit ajab ringi 290 kW Siemensi toodetud asünkroon elektrimootor 1LA8317-4PM80-Z [10]. Antud juhul on tegemist samuti IE2 efektiivsusklassiga elektrimootoriga, mille efektiivsus on 95,1% [8].

**Tabel 2.2.1.** Sekundaarõhu ventilaatori elektrimootori nimesilt [10]

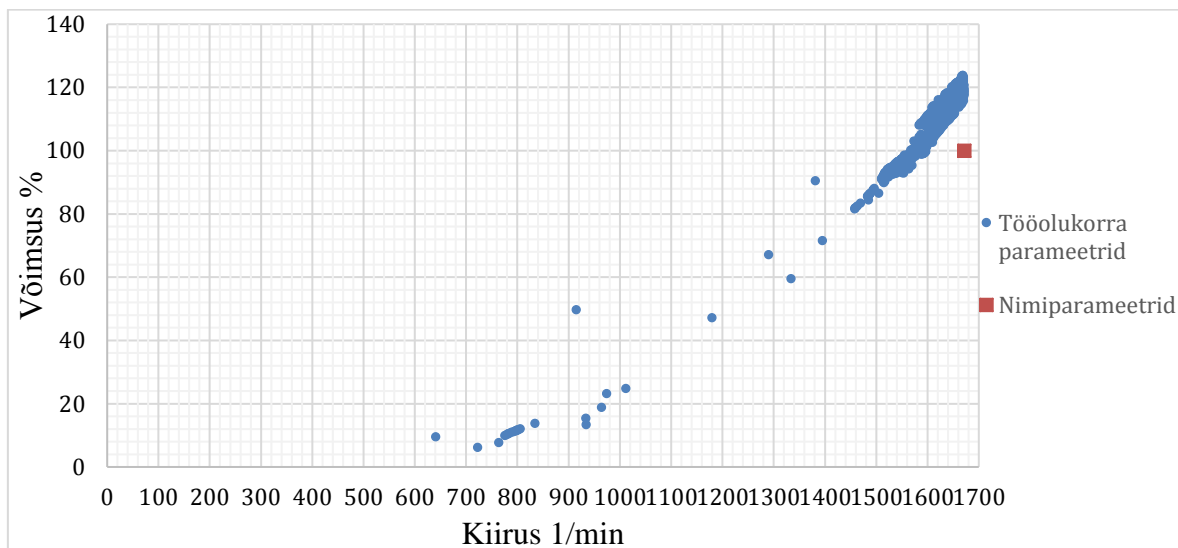
V	Hz	A	kW	cosφ	1/min
690 Y	50	285	290	0,87	1485
400 Δ		495			

**Tabel 2.2.2.** Sekundaarõhu ventilaatori nimiparameetrid [10]

<b>Tihedus</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1,123
<b>Õhuvoolu maht</b> (m <sup>3</sup> /s)	23,9
<b>Rõhk</b> (Pa)	6796
<b>Võlli võimsus</b> (kW)	201,5
<b>Ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1672
<b>Maksimaalne ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1800
<b>Sisseimetava õhu temperatuur</b> (°C)	+30

### 2.2.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond

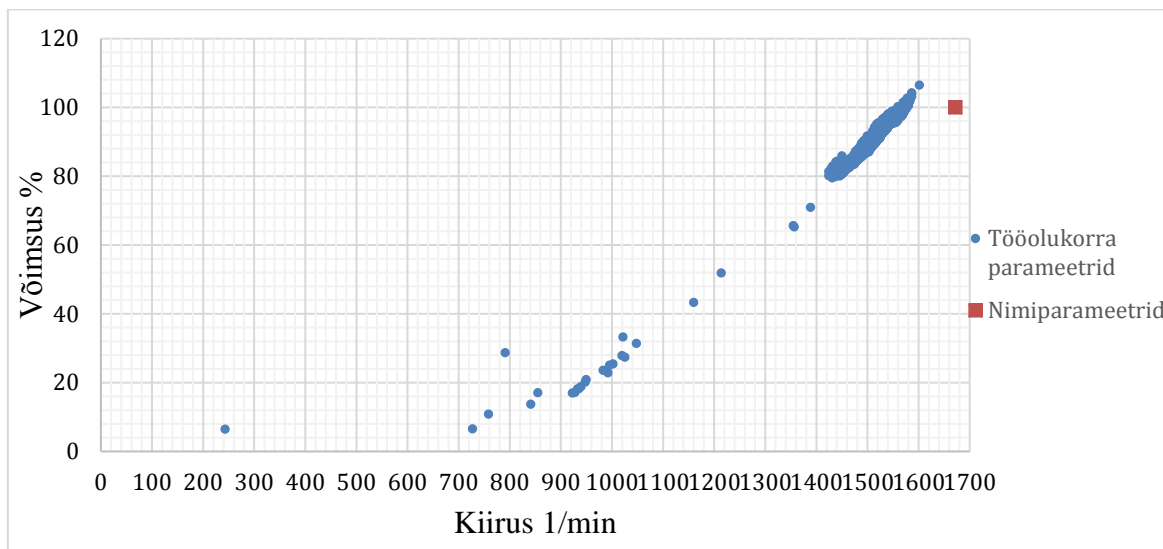
Sekundaarõhu ventilaatori nimisagedus on 50 Hz, kuid läbi sagedusmuunduri on seadistatud mootor töötama 56 Hz. Siemensi toodetud mootorid on projekteeritud nii, et nende sagedust võib tõsta maksimaalselt 55-56 Hz juurde. Järgnevalt on toodud seadme kiirust ja sellele vastavat võimsust kujutav graafik.



**Joonis 2.2.1.** Sekundaarõhu ventilaatori võimsuse ja kiiruse punktdiagramm tööolukorras enne hooldust.

Joonis 2.2.1. on punktdiagramm, mis kujutab võimsusele ja kiirusele vastavaid punkte graafikul tööolukorras. Ruut on võimsuse ja kiiruse nimiparameetreid kujutav olukord ehk

nimipunkt, kus seade töötab 100% ehk 201,5 kW võimsusega kiirusel 1672 pööret minutis. Kuna nimiparameetreid kujutav punkt jääb suurema punktipilve alla, saab lugeda jooniselt, et seade töötab liigsel koormusel ning on halvasti dimensioneeritud. Lisaks suurele energiakulule rikub pikaajaline seadme ülekoormamine erinevaid seadme osi ning nende vahetamine on küllaltki kulukas.



**Joonis 2.2.2.** Sekundaarõhu ventilaatori võimsuse ja kiiruse punktdiagramm tööolukorras peale hooldust.

Joonis 2.2.2. kujutab samuti kiiruse ja võimsuse punktgraafikut, kuid graafikul kujutatud andmed on kogutud peale seadme hooldustöid. Peale iga-aastast koostootmisjaama hooldust vahetati välja õhu eelsoojendite torud. Need lubavad rohkem õhuvoolu süsteemis ning seega on õhu takistus süsteemis väiksem. Antud ümberehitus oli vajalik, sest õhueelsoojendite torud olid hakanud lekkima ning lekkiv õhk sattus lahkuvatesse suitsugaasidesse. Et süsteemis säiliks rõhk, keevitati lekkivad õhueelsoojendustorud kinni, kuid see tõstis oluliselt õhutakistust süsteemis. Kõik õhu eelsoojendite torud vahetati välja ning uusi torusid on võrreldes vana lahendusega rohkem. Uus lahendus vähendas märkimisväärselt õhutakistust süsteemis ning see võimaldas seadmel töötada madalamal võimsusel transportides samapalju õhku.

#### 2.2.4. Võimalused optimeerimiseks

Võrreldes jooniseid 2.2.1 ja 2.2.2. on näha, et seade töötab palju väiksemal võimsusel peale hooldustöid. Antud optimeerimine aitas oluliselt sekundaarõhu ventilaatori energiatarbimist vähendada.

Siiski jääb sekundaarõhu ventilaatori suurimaks probleemiks see, et seade töötab pidevalt maksimaalses tööpiirkonnas ja kohati isegi kõrgemal, kuna ventilaator ei suuda muidu piisavas koguses õhku transportida. Antud probleemi annaks lahendada seadme mingite osade modifitseerimisega. Näiteks ventilaatori tiiviku diameetri või kiiruse suurendamine, mida hetkel kasutusel olev mootori ei puhul ei ole võimalik rakendada. Kiiruse suurendamine 10% nõuaks ventilaatori töös hoidmiseks 33% rohkem võimsust [11]. See tähendaks, et sagedus läheks üle oma nimisageduse (tabel 2.2.1.) ning üle oma maksimaalselt lubatud sageduse 55 Hz.

Ka peale ümberehitust on sekundaarõhu ventilaatori peamine probleem see, et sellel ei ole piisavalt tootlikkust põlemisprotsessi reguleerimiseks, sest ventilaator töötab maksimumkiirusega. Kui ventilaatori nimikiirus ehk 1672 1/min (tabel 2.2.2.) oleks mootori nimikiirus oleks lõplik võimsus 70,1 % praeguse seadme nimivõimsusest. Kui rõhk süsteemis jääks samaks, oleks vaja suurendada ventilaatori töörata läbimõõtu 12% ehk 175 mm võrra. Selle tulemusena tõuseks õhukulu 25% ehk 5,5 m<sup>3</sup>/s ning võimsus suureneks 24% võrreldes esialgsuga, ehk 69,6 kW. Seega võiks kasutada mootorit võimsusega vähemalt 360 kW. [11]

Teine võimalus oleks asendada 50 Hz nimisagedusega mootor 60 Hz nimisagedusega mootoriga. Suurema sageduspiirkonna mõjul on võimalik suurendada ventilaatori tööpiirkonda suurema kiirusega. [11]

## 2.3. Retsirkulatsioonigaasi ventilaator

### 2.3.1. Tööpõhimõte ja parameetrid

Retsirkulatsioonigaasi ventilaator töötab sarnaselt primaar- ja sekundaarõhu ventilaatoritele tsentrifugaal tehnoloogial. Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori eesmärk on lisada primaarõhule lahkuvaid suitsugaase. Kui keevkihi temperatuur langeb, vähendatakse primaarõhu temperatuuri ning lisatakse rohkem kõrgetemperatuuriga suitsugaase, et säiliks keevkihi „mullitamine“. Ventilaatorit ajab ringi asünkroon elektrimootor Siemens 1LA8317-2PM80-Z [12]. Antud elektrimootori efektiivsus klassifikatsioon on IE2 ehk selle efektiivsus on 95,1% [8].

**Tabel 2.3.1.** Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori nimiparameetrid [12]

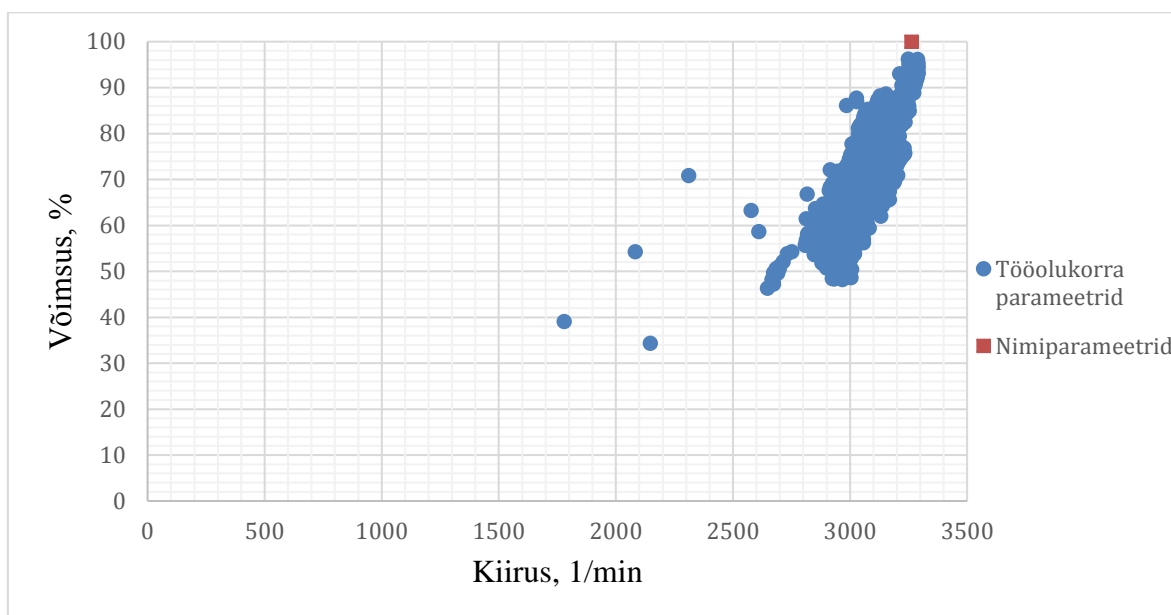
<b>Tihedus</b> (kg/m <sup>3</sup> )	0,725
<b>Õhuvoolu maht</b> (m <sup>3</sup> /s)	8,9
<b>Rõhk</b> (Pa)	14316
<b>Võlli võimsus</b> (kW)	171,6
<b>Ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	3263
<b>Maksimaalne ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	3540
<b>Sisseimetava õhu temperatuur</b> (°C)	+180

**Tabel 2.3.2.** Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori elektrimootori nimiparameetrid [12]

<b>Võimsus</b> (kW)	300
<b>Pinge</b> (V)	690
<b>Vool</b> (A)	285
<b>Nominaalne pöörlemiskiirus</b> (1/min)	2978
<b>cosφ</b>	0,91

### 2.3.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond

Nagu primaar- ja sekundaarõhu ventilaatorid on ka retsirkulatsioonigaasi ventilaatori nimisagedus tõstetud 55 Hz juurde kasutades sagedusmuundurit. Järgnev joonis kujutab ventilaatori tööparameetreid ehk ventilaatori tiiviku pöörlemiskiirust ja sellele vastavat võimsust punktdiagrammi kujul. Tööparameetreid kirjeldavad andmed on kogutud perioodil mai 2020 kuni mai 2021.

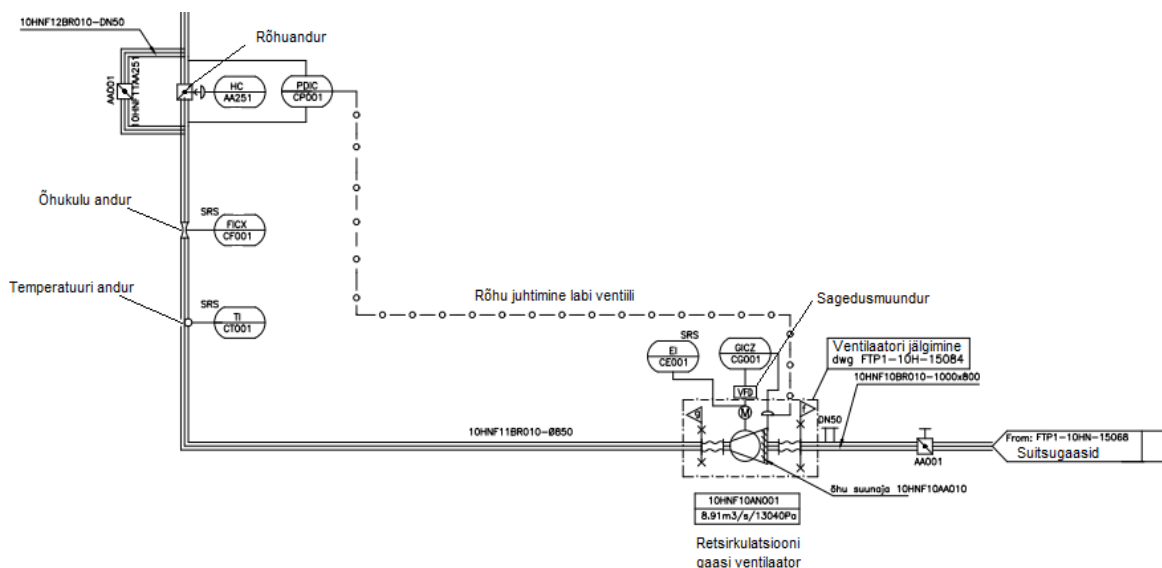


**Joonis 2.3.1.** Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori kiiruse ja võimsuse punktdiagramm tööolukorras.

Antud joonise puhul on näha, et retsirkulatsioonigaasi ventilaator töötab peamiselt vahemikus 50-95%. Eraldi on välja toodud ruut graafikul, mis märgib ventilaatori nimiparameetreid kus ventilaator töötab 100% võimsusel kiirusega 3263 pööret minutis.

### 2.3.4. Võimalused optimeerimiseks

Hetkel juhitakse retsirkulatsiooni gaasi ventilaatorit läbi rõhuanduri, mis tekitab rõhu vahe 5 mbari. Antud lahendus on üleliigne õhutakistus süsteemis. Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori süsteemi oleks võimalik optimeerida, kui juhtida süsteemi õhukulu anduri, mitte rõhuanduri järgi.



**Joonis 2.3.3.** Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori juhtimisskeem. [13]

Juhtides retsirkulatsioonigaasi ventilaatori tööd läbi õhukulu anduri, on võimalik likvideerida rõhuanduri poolt tekitatud lisatakistus süsteemis. Arvestades, et kogutud andmetes on keskmine rõhk süsteemis 136,3 mbari, siis antud rõhuanduri kaotamine vähendaks süsteemi rõhku ühtlaselt 5 mbari võrra, mis omakorda vähendaks energia tarbimist 3,7%.

## 2.4. Suitsugaasi imeja

### 2.4.1. Tööpõhimõte ja parameetrid

Suitsugaasi imeja eesmärk on aidata kaasa tõmbeprotsessile, tekitades pidevalt koldes alarõhku. Ventilaatori käitamiseks kasutatakse Siemens 1LA4500-6CM00-Z 900 kW elektrimootorit. Erinevus seisneb selles, et sissevõtuavast imetakse sisse lahkuvaid suitsugaase, mille temperatuur jääb ligikaudu 170 °C juurde [14]. Suitsugaasi imeja energia klassifikatsioon on IE2 ehk selle efektiivsus on 95,1% [8].

**Tabel 2.4.1.** Suitsugaasi imeja ventilaatori nimiparameetrid [14]

<b>Gaasi tihedus</b> (kg/m <sup>3</sup> )	0,713
<b>Õhuvoolu maht</b> (m <sup>3</sup> /s)	71,7
<b>Rõhk</b> (Pa)	7564
<b>Võlli võimsus</b> (kW)	680,4
<b>Ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1162
<b>Maksimaalne ventilaatori pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1162
<b>Sisse imetava õhu temperatuur</b> (°C)	+165

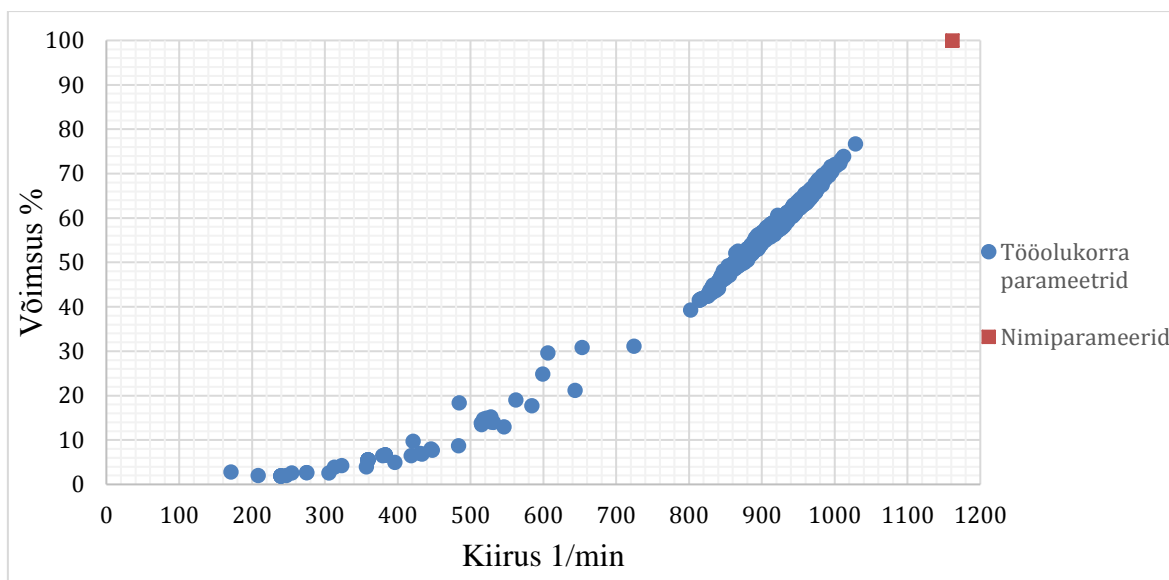
**Tabel 2.4.2.** Suitsugaasi imeja elektrimootori nimiparameetrid [14]

<b>Võimsus</b> (kW)	900
<b>Pinge</b> (V)	690
<b>Nominaalne pöörlemiskiirus</b> (1/min)	1000



### 2.4.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond

Järgevalt on koostatud punktdiagramm, mis kujutab võimsusest ja kiirusest sõltuvaid punkte seadme tööolukorras. Andmed graafiku koostamiseks on kogutud perioodil mai 2020 kuni mai 2021.



Joonis 2.4.1. Suitsugaasi imeja võimsuse ja kiiruse punktdiagramm.

Joonis 2.4.1. kujutab seadme tööolukorra kiirust ja sellele vastavat võimsust protsentides. On näha, et suurem punktipilv jääb vahemikku 40-75%, ning seda võib nimetada seadme peamiseks tööpiirkonnaks. Nimiparameetrite punktis töötaks seade 100% võimsusega, kiirusel 1162 pööret minutis ning punkt on tähistatud graafikul ruudu kujundina.

### 2.4.4. Võimalused optimeerimiseks

Suitsugaasi imeja on üks võimsamaid seadmeid koostootmisjaamas ning antud seadme projekteerimine ja dimensioneerimine on hästi läbi mõeldud ja teostatud. Antud seade on projekteeritud nii, et on arvestatud võimalusega lisada antud süsteemi suitsugaaside pesur. Lisades suitsugaaside pesur süsteemi, tekib lisatakistus ning, et säiliks vajalik gaasi hulk ja rõhk süsteemis, peab seade töötama suuremal võimsusel. Joonisel 2.4.1. on näha ligikaudu

25% võimsuse tühimik, mis peaks suitsugaaside pesuri poolt tekitatud lisatakistuse võimsuse nõudluse korvama. Vajadusel on võimalik tõsta seadme sagedust 50 Hz pealt 55 Hz peale.

## **2.5. Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumbad**

### **2.5.1. Tööpõhimõte ja parameetrid**

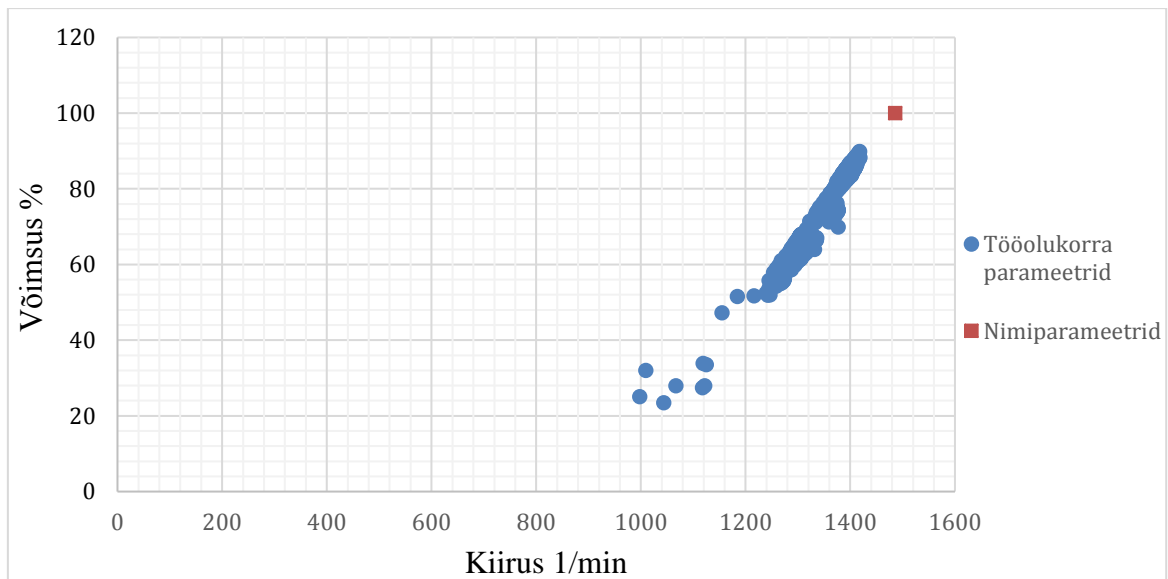
Soojusvahetit läbib kaugküttevesi ja turbiinist väljuv aur. Soojusvahetisse suunatud aur kannab oma soojuse kaugkütteveele. Soojusvahetis oleva auru kondenseerumisel tekib transporditav kondensaad, mis suunatakse toitevee mahutisse. Kondensaadi pumpade puhul on tegemist tsentrifugaalpumpadega ning nende eesmärk on reguleerida soojusvahetis oleva kondensaadi nivood. Kondensaadi pumpasid on kaks, kuid juhtimisel kasutatakse korraga ainult ühte pumpa. Kaks pumpa on paigaldatud süsteemi turvalisusse eesmärgil. Juhul kui üks pump peaks ootamatult seiskuma, jätkab teine pump nivoo reguleerimist. Mõlema pumba efektiivsusklass on IE 2 ning seega on nende efektiivsus 94,2%. [8]

**Tabel 2.5.1.** Kaugkütte soojusvaheti kondensaadi pumpade nimiparameetrid [15]

<b>Vedeliku tihedus</b> (kg/m <sup>3</sup> )	975
<b>Voolu maht</b> (l/s)	30,8
<b>Võimsus</b> (kW)	61
<b>Pumba pöörlemise kiirus</b> (1/min)	1486

### **2.5.3. Projekteeritud- ja tegelik tööpiirkond**

Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade nimisagedus on 50 Hz, kuid seade ei tööta antud sagedusel. Järgnev joonis kirjeldab pumpade kiirusele vastava võimsuse tööpunkte. Ruumi kokkuhoiu mõttes liideti mõlema pumba tööparameetrid samale graafikule, kuna need täidavad täpselt sama eesmärgi ja on samade nimiparameetritega.

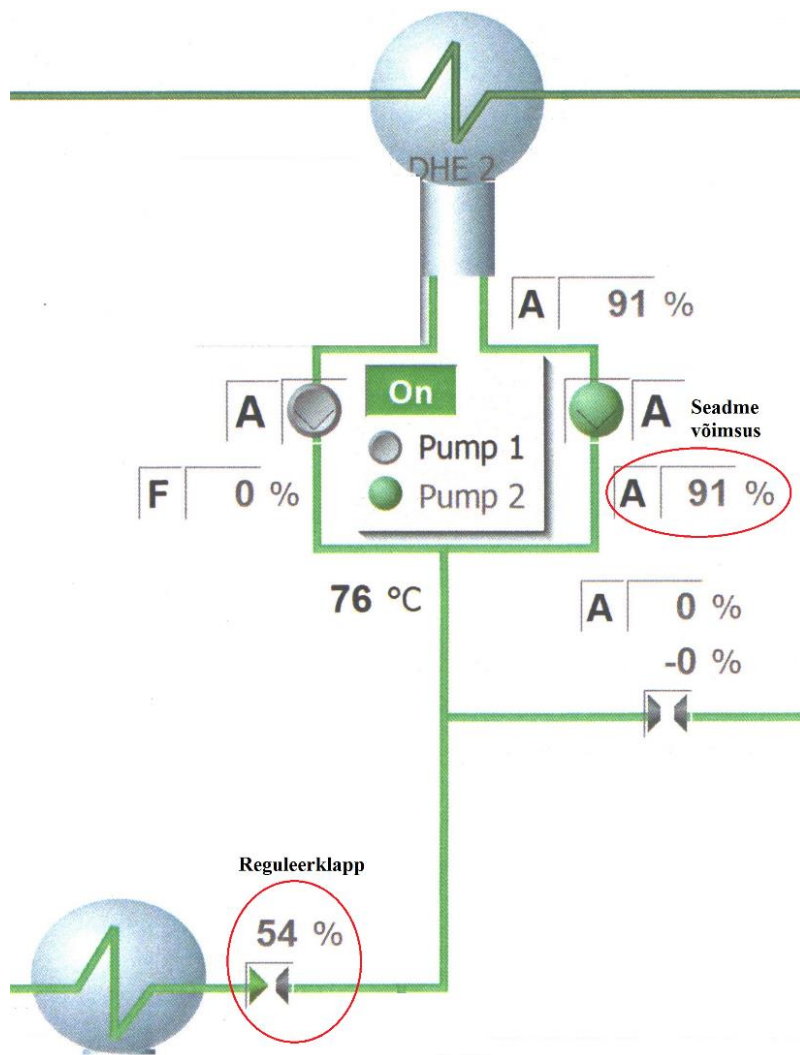


**Joonis 2.5.1.** Kaugkütte soojusvaheti kondensaadi pumpade kiiruse ja võimsuse punktdiagramm enne optimeerimist.

Jooniselt 2.5.1. on näha, et peamine punktigrupp jääb vahemikku 55-90%, seega võib öelda, et pumpade peamine tööpiirkond asub just selles vahemikus. Pumpade nimiparameetreid iseloomustav punkt on kujutatud ruuduna ning see asub 100% võimsuse juures kiirusel 1486 pööret minutis ning on üldise tööpiirkonna läheduses. See näitab, et seade on üsna hästi dimensioneeritud.

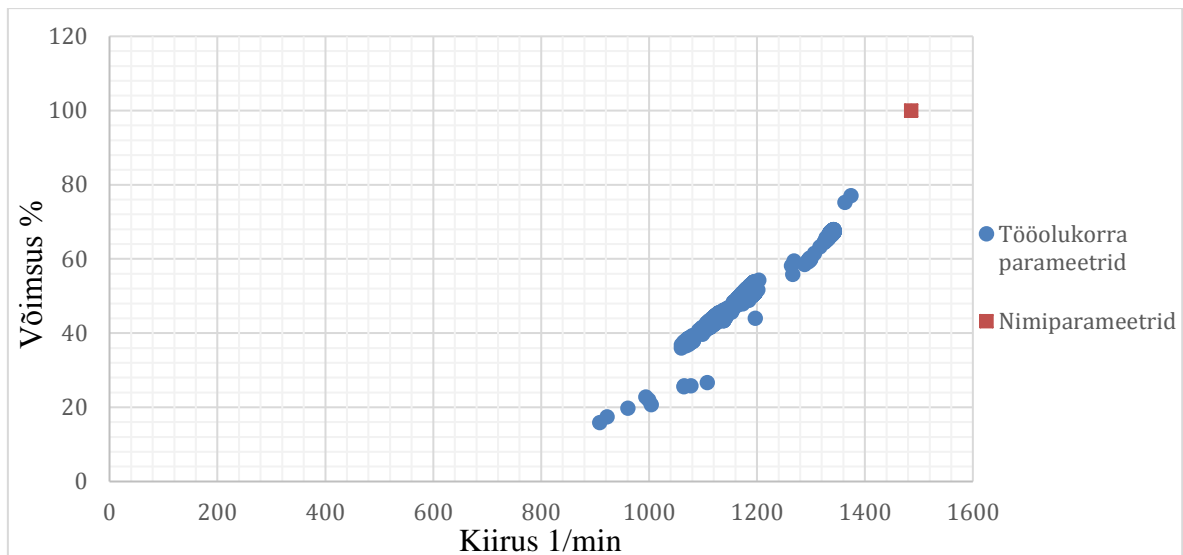
#### 2.5.4. Võimalused optimeerimiseks

Antud bakalaureusetöö kirjutamise ajavahemikul rakendati kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpadele optimeerimislahendus kulude kokkuhoiu huvides. Nimelt töötas eelnevalt pump teistsugusel põhimõttel (joonis 2.5.2.). Pump töötas pidevalt suure võimsusega, tekitades reguleerklapi ees konstantse rõhu. Reguleerklapi abil kontrolliti kondensaadi kulu ja nivood.



**Joonis 2.5.2.** Endine süsteemi seadistus.

Joonisel 2.5.2. on näha, et sellel hetkel on töös pump kaks, võimsusega 91%, mis tähendab, et mootor töötab peaaegu oma nimivõimsusel. Reguleerklapi puhul on näha, et see on avatud 54%. Hiljuti optimeeriti süsteemi nii, et kogu nivoo reguleerimine käib läbi pumba ja reguleerklapp on konstantselt 100% avatud positsioonis.



**Joonis 2.5.3.** Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade võimsust ja kiirust kirjeldav punktdiagramm tööolukorras peale optimeerimist.

Joonis 2.5.3. kujutab kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade kiiruse ja sellele vastava võimsuse parameetreid tööolukorras. Antud joonise andmed on kogutud peale süsteemi optimeerimist. Kui võrrelda joonist 2.5.1. ehk andmeid enne ümberehitust ja joonist 2.5.3. ehk andmeid peale ümberehitust on näha, et üldine seadmete võimsus on langenud ligikaudu 20-40%. See tähendab, et seadmed tarbivad 20-40% vähem energiat. Pikas perspektiivis on ka väikese seadme puhul 20% energia kokkuhoidu üsna arvestatav tarbekulude vähendamine.

### **3. TÖÖ TULEMUSED JA ANALÜÜS**

#### **3.1. Primaarõhu ventilaator**

Primaarõhu ventilaator on küllalt suure võimsusega seade primaarõhu süsteemis, Projekteerimisel on kasutatud 480 kW seadet, mis töötab pidevalt 30-50% võimsuse vahemikus (joonis 2.1.1.). Joonisel 2.1.2. on näha õhukulu ja rõhu parameetreid iseloomustav punktdiagramm. Antud diagrammil on näha, et ventilaator oleks võimeline transportima rohkem õhku, kuid suurem osa ajast pole see vajalik. Mõlema joonise põhjal võib järeldada, et primaarõhu ventilaatori puhul on valitud liiga suure võimsusega seade.

Projekteerimisel oleks saanud kasutada väiksema võimsusega odavamat seadet, hoides sellega projekteerimis-, soetus- ja hoolduskuludelt kokku. Seadme täpset hinda on keeruline kindlaks teha, kuna seadmed soetati hankega (komplektis), ühe koostootmisjaama sektsiooni ehitamisel. Lisaks pole võimalik täpset hinnavõrdlust teha kuna seadmed soetati 2009. aastal ning sellest ajast ei ole seda tüüpi seadmete hinnaandmed kättesaadavad. Antud puhul on leitud analoogne seade teise tootja poolt, kuid mõne aastase vahega ning selle põhjal on võimalik anda suhteline hinnaklass primaarõhu ventilaatorile. Võrreldes töös käsitletavat seadet 2012. aastal ettevõtte Sodeca poolt avaldatud tööstuslike ventilaatorite kataloogist leitud ventilaatoritega, oli võimalik leida analoogne seade ning sellest oletada umbkaudne hinnaklass. Antud juhul leiti, et IE2 klassifikatsiooniga umbkaudu samade parameetritega ventilaatori komplekti maksumus on ligikaudu 65 000 – 70 000 eurot. Seega, kui oleks soetatud näiteks 380 kW seadme komplekt, siis oleks kokku hoitud pea 15 000 eurot, mille sisse ei ole arvestatud paigalduskulusid.

Kui seadet kindlasti soovitakse välja vahetada, on vajalik küsida sama seadme paigaldanud ettevõttelt hinnapakkumist ning seega on antud töös raske välja tuua uue seadme hinda. Kasutades uuemat tehnoloogiat, võivad uue seadme efektiivsusnäitajad ulatuda kuni 1,6% paremaks, kuid antud protsendi puhul on periood, mil seade ennast ära tasub väga pikk.

### 3.2. Sekundaarõhu ventilaator

Täpsemal andmete analüüsimisel, saadi enne hooldust kogutud andmete keskmiseks võimsuseks 111,8% ning peale hooldust kogutud andmete keskmiseks võimsuseks 90%. Tuues välja üksikasjalikumalt näiteid andmetest:

**Tabel 3.2.1.** Sekundaarõhu ventilaatori hoolduse eelsete ja järgsete rõhu ja võimsuse andmete võrdlus

Enne hooldust			Pärast hooldust		
Rõhk, mbar	Õhukulu, m <sup>3</sup> /s	Võimsus, %	Rõhk, mbar	Õhukulu, m <sup>3</sup> /s	Võimsus, %
28,9740	19,9539	116,8416	28,7245	19,9864	86,1502
29,9787	20,0179	101,3492	29,7124	20,4566	91,6502
29,2219	19,9237	115,7132	29,1825	19,5559	84,065
29,9984	19,8445	118,6976	29,8461	19,9576	87,752

Tabelis on välja toodud tööolukorra parameetrid enne hooldust ja pärast hooldust. Eesmärk on võrrelda samale rõhule ja õhukulule vastavaid võimsuseid. Antud juhul on näha, et hooldusjärgsed võimsuse näitajad on palju väiksemad kui võimsuse näitajad enne hooldust. Võrreldes joonist 2.2.2. joonisega 2.2.1, tabelit 3.2.1 ning tööks kogutud seadme tööolukorra parameetreid, on selgesti näha, et seadme energia tarbimine langes ligi 21%. Kasutades saadud protsentuaalset suurust on energia kokkuhoid tunnis 42,3 kW. Kuna ventilaator töötab ööpäevaringselt, siis korrutades antud suuruse aastas olevate tundidega, kuid lahutada maha kaks nädalat, mis on keskmine jaama hooldusperiood, on võimalik saada energia kasutus kilovatt-tundides, kasutades valemit:

$$E_{kWh} = E_{kW} \times t \quad (3.1.)$$

kus  $E_{kWh}$  on energia kilovatt-tundides kWh;

$E_{kW}$  –energia kW;

t –aeg h.

Asendades arvud valemisse 3.1. on võimalik leida seadme tegelik energia tarbimine aastas:

$$42,3 \times 8430 = 356589 \text{ kWh}$$

Teisendades saadud suuruse MWh ning korrutades saadud suuruse keskmise koostootmisjaamale kehtiva elektri hinnaga tekib valem:

$$EUR = E_{MWh} \times EUR_{kesk} \quad (3.2.)$$

kus EUR on energia hulgale vastav rahaline väärtus €;

$E_{MWh}$  –energia MWh;

$EUR_{kesk}$ . –keskmise koostootmisjaamale kehtiv elektri turuhind MWh kohta €.

Aastal 2020 oli jaamale kehtiv keskmine elektri hind MWh kohta 87,4 eurot. Selle hinna sisse on arvatud üldine turuhind ja jaamale kehtiv roheenergia toetus. Seega on sekundaarõhu ventilaatori süsteemis tehtud optimeerimisest tulenev aastane rahaline kokkuvõtte valem 3.2. järgi:

$$356,6 \text{ MWh} \times 87,4 \text{ €} = 31166 \text{ €}$$

Antud tehest saadud tulemusel on näha, et peale sekundaarõhu süsteemi optimeerimist ehk täpsemalt õhu eelsoojendite välja vahetamist ning õhutakistuse vähendamist, on aastane rahaline kokkuvõtte 31 166 eurot.

Arvestades, et seade töötab endiselt maksimaalsel võimsusel, oleks lähiajal vajalik seadme välja vahetamine. Antud seadme puhul tasuks samuti uurida projekteerimisel seadmete efektiivsusklasse ning arenevaid tehnoloogiaid, et seadme tasuvusaeg oleks võimalikult lühike.

### 3.3. Retsirkulatsiooni ventilaator

Antud seadme puhul leitud optimeerimisvõimalust rakendades oleks energia kokkuvõtte ligikaudu 4%. Aastases vahemikus kogutud mõõtetulemuste põhjal saab lugeda seadme keskmiseks võimsusprotsendiks 68,1%, mis on 116,9 kW. Arvestades 4% edaspidist kokkuvõtte seadme keskmisest võimsusest ehk 4,7 kW, on võimalik arvutada rahaline kokkuvõtte. Seade töötab ööpäevaringselt ning aasta otsa, eeldades, et seade või jaam ei seisku mõne rikke tõttu pikaks ajaks. Lisaks võib aasta tundide arvust maha lahutada kaks



nädalat jaama hooldusaega, kus kogu jaam seiskub hooldustöödeks. Korrutades keskmise võimsuse ajaga, saab valemi 3.1. põhjal arvutada kilovatt-tunnid:

$$4,7 \times 8430 = 39621 \text{ kWh}$$

Saadud arvu saab teisendada 39,6 MWh. Teisendatud arvu põhjal on lihtsam arvutada seadme aastane omatarbe kuluhind, kasutades valemit 3.2, kus keskmine koostootmisjaamale kehtiv elektri hind MWh kohta on 84,7 eurot:

$$39,6 \times 84,7 = 3354 \text{ €}$$

Antud seadme puhul võimaldaks rõhuanduri kaotamine süsteemist 4% energia kokkuhoidu, mis rahaliselt teeks 3354 eurot aastas. Tegemist pole küll suure summaga, kuid pikas perspektiivis hoiaks antud süsteemi optimeerimine küllaltki suure summa omakuludelt kokku.

### **3.4. Suitsugaasi imeja**

Suitsugaasi imeja puhul on tegemist seadmega, mis otseselt optimeerimist ei vaja. Antud seade on valitud ja projekteeritud nii, et tulevasel ajaperioodil paigaldatakse seadme süsteemi suitsugaaside pesur. Suitsugaaside pesuriga on võimalik koostootmisjaama soojuslikku võimsust tõsta ligi 15 MW [15]. Suurema soojusliku võimsusega on võimalik tarnida soojust rohkematele tarbijatele. Suitsugaaside imeja süsteemi lisab õhutakistust, mis sunnib mootorit rohkem võimsust kasutama, et piisav õhukulu ja rõhk süsteemis säiliks. Seadme puhul on jäetud võimsuse potentsiaali ligikaudu 30-40% ning see vahemik peaks korvama tekkiva lisatakistuse süsteemis.

### 3.5. Kaugkütte soojusvaheti kondensaadi pumbad

Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade süsteem töötas ligikaudu kümme aastat optimeerimata seadistusega. Kogutud töö andmetest saadi keskmiseks võimsuseks aastasel perioodil 74,4%, mis võrdub 45,4 kW. Kuna pumbad töötavad ööpäevaringselt, siis on võimalik arvutada valemi 3.1 järgi säästetud kilovatt-tunnid aastas:

$$45,4 \times 8430 = 382722 \text{ kWh}$$

Antud juhul on näha, et pumbad tarbisid aastaga keskmiselt 382722 kWh, mis võrdub 383 MWh. Kui arvestada, et keskmiselt on koostootmisjaamale kehtiv MWh hind 87,4 eurot, on võimalik arvutada valemi 3.2. järgi seadmete aasta keskmine omatarbekulu valemi 3.2. järgi:

$$398 \times 87,4 = 33474 \text{ €}$$

Peale optimeerimist on keskmine võimsus 49%, mis on 29,9 kW. Kasutades sekundaarõhu ventilaatori puhul selgitatud lahenduskäiku, on võimalik valemi 3.1. järgi arvutada kilovatt-tunnid aastas:

$$29,9 \times 8430 = 252057 \text{ kWh}$$

Seega on pumpade aastane energia tarbimine 252 MWh. Kasutades eelmises lõigus välja toodud elektri turuhinda, on võimalik arvutada valemi 3.2. järgi aastane omatarbe hind antud seadmetele.

$$252 \times 87,4 = 22025 \text{ €}$$

Võrreldes saadud tulemusi ning lahutades optimeerimise eelsest tulemusest optimeerimise järgne tulemus, on võimalik arvutada edaspidine aastase omatarbekulu kokkuvõide:

$$33474 \text{ €} - 22025 \text{ €} = 11449 \text{ €}$$

Antud seadme süsteemi optimeerimine säästab aastas ligikaudu 11 449 eurot. Kümne aasta perspektiivis ehk kui optimeeritud süsteem oleks rakendatud jaama valmimise ajal, oleks kokku hoitud 114 490 eurot.

## KOKKUVÕTE

Pärnus asuv koostootmisjaam valmis 2010. aastal ning jaama maksumus oli ligi 86 miljonit eurot. Koostootmisjaam kasutab kohalike ettevõtete poolt toodetud biokütuseid nagu hakkepuut ning erinevate tootmiste puidujäägid. Jaama elektrigeneraatori võimsus on 24 MW ja soojuslik võimsus 45 MW. Elekter müüakse *Nordpool* börsile ja soojus tarnitakse kaugküttevõrgu abil tarbijatele. Kaugküttevõrgu pikkus on ligi 90 kilomeetrit ning tarbijaid on peaaegu 18 000. Iga-aastane elektrienergia tootlus on 170 GWh ning soojusenergia tootlus 220 GWh. Jaam kasutab tootmisprotsessis koostootmistehnoloogiat ning katlaks on keevkihtkatel. Juhtimis- ja jälgimissüsteemina on kasutusel *Distributed Control System* ehk hajutatud kontrollimissüsteem. Andmeedastuseks kasutatakse 4-20 mA ja 0-10 V analoogsignaale ning Modbus, Profibus ja HART andmeedastust. Seadmete nagu pumpade ja ventilaatorite juhtimine käib läbi sagedusmuundurite *Profidrive* kommunikatsiooni süsteemiga.

Analüüsiks valiti viis erinevat seadet, milleks olid primaar- ja sekundaarõhu ventilaatorid, retsirkulatsioonigaasi ventilaator, suitsugaaside imeja ning kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumbad. Iga seadme puhul toodi välja nende nimiparameetrid. Seadmete tööolukorra parameetrite kohta koguti andmed aastase perioodi vahemikus. Need on esitatud graafikutena ning on põgusalt kirjeldatud tekkiv seadme tööpiirkond. Seadmed, nende süsteemid ning nendes esinevad probleemid on väga erinevad ja seda on ka töös välja pakutud seadmete optimeerimise võimalused. Primaarõhu ventilaatori puhul leiti, et seade töötab pidevalt ainult 30-60% võimsusega ning seega ei kasuta seade oma täielikku potentsiaali. Sekundaarõhu ventilaatori puhul teostati eelmise jaama hooldustööde käigus õhueelsoojendite vahetus. Antud ümberehitus vähendas õhu takistust süsteemis, ning vähendas seadme energiakasutust ligi 21%. Retsirkulatsioonigaasi ventilaatori puhul leiti võimalus vähendada õhutakistust rõhuanduri ära kaotamisel vähendades seadme energia tarbimist 4%. Suitsugaasi imeja on projekteeritud nii, et antud seadme süsteemi on võimalik paigaldada suitsugaaside pesur. Antud bakalaureusetöö valmimise käigus seadistati ümber

kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade süsteem, mille tulemusena vähenes seadmete energia tarbimine ligikaudu 21%.

Kokkuvõtlikus analüüsis on täpsemalt kirjeldatud kogutud andmete tulemusi ning arvutatud võimalik rahaline kokkuhoid. See käsitleb kui palju säästetakse või oleks võimalik säästa seadme pealt raha. Primaarõhu ventilaatori projekteerimisel arvestati seadme peamine tööpiirkond valesti. Nimelt oleks antud seadme puhul olnud võimalik soetada väiksema võimsusega seade, mille puhul oleks olnud võimalik säästa projekteerimiskuludelt ligi 15 000 eurot. Sekundaarõhu ventilaatori puhul on leitud, et teostatud ümberehitusest tulenev aastane energia kokkuhoid on ligikaudu 21%, mis on rahaliselt umbes 31 000 eurot. Retsirkulatsiooni gaasi ventilaatori puhul on leitud, et kui rakendada antud seadmele välja pakutud optimeerimisvõimalust, väheneks energiakulu ligikaudu 4% ning aastane rahaline kokkuhoid oleks umbes 3400 eurot. Antud summa pole küll suur, kuid pikemas perspektiivis säästab ka see lahendus küllaltki suure summa. Suitsugaaside imeja puhul ei leitud otsest optimeerimisvõimalust, kuid antud seadme puhul planeeritakse süsteemi suitsugaaside pesuri lisamist, mis tõstaks jaama soojuslikku tootmist 15 MW võrra. See võimaldaks tarnida rohkem soojust, laiendades tarbijate hulka ja selle käigus suurendada kasumit. Kaugkütte teise soojusvaheti kondensaadi pumpade puhul teostatud ümberseadistus säästab aastas ligikaudu 11 490 eurot.

Töö alguses püstitatud eesmärk sai täidetud. Töös on leitud seadmete optimeerimisvõimalusi rahalise kokkuhoiu ning tootlikuse tõstmise näol. Antud lõputöös on leitud, et ka väiksema võimsusega seadmete, antud juhul kaugkütte teise soojusvaheti nivoo pumpade optimeerimine võimaldab säästa ligi 11 000 eurot. Lisaks on võimalik säästa ka väiksemate optimeerimiste tulemusena nagu rõhuanduri likvideerimine retsirkulatsioonigaasi süsteemist, mis säästab 3400 eurot aastas. See tähendab, et kogu tootmissüsteem tuleks hoolega üle vaadata ning otsida võimalusi edaspidisteks optimeerimisteks. Isegi kui tegemist on väikse parendusettepanekuga, võib suur hulk väikseid optimeerimisi kokkuvõttes säästa palju energiat ja seega raha.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Pärnu CHP underwriting and risk survey report. (2020). Riskianalüüsi aruanne. Willis Towers Watson (10.01.2021).
2. **Paist, A.** Soojuse ja elektri koostootmise tehnoloogiatest. Eesti põlevloodusvarad ja – jäätmed, 2013, ISSN 1736-0315, lk. 6–9. (16.01.2021).
3. **Paist, A.** Põletusseadmete, nende õhuheitmed, püüdeseadmed. Tallinna Tehnikaülikool (16.01.2021).
4. **Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S.** (2005). Biokütuse kasutaja käsiraamat. Tallinna Tehnikaülikool. 172 lk. (17.01.2021).
5. **Anderson, M.** (2019). What is DCS? (Distributed Control System). [on-line] <https://realpars.com/dcs/> (19.01.2021).
6. Profibus. Technology. Overview: <https://www.profibus.com/technology/profibus/overview> (21.01.2021)
7. 4500205960/Pärnu CHP Plant-project, 10HLB10AN001. (2009). Tehniline dokument. Koja Oy. 20 lk. (25.01.2021)
8. Report on Study on International Efficiency (IE) Efficiency Classes for Low Voltage AC Motors. (2015). Hong Kong: Energy Efficiency Office. [on-line]. [www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content\\_764/Report%20on%20International%20Efficiency%20Efficiency%20Classes%20for%20Low%20Voltage%20AC%20Motors.pdf?fbclid=IwAR1JkfsP8DZ1vmD4ur3dGJO7x\\_WYbcqv9J58Yg-LAD\\_efxyFo7eXkDvwk8M](http://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content_764/Report%20on%20International%20Efficiency%20Efficiency%20Classes%20for%20Low%20Voltage%20AC%20Motors.pdf?fbclid=IwAR1JkfsP8DZ1vmD4ur3dGJO7x_WYbcqv9J58Yg-LAD_efxyFo7eXkDvwk8M) (21.05.2021).
9. ABB ltd. ABB IE5 SynRM motors deliver ultra-premium energy efficiency. Pressiteadaanne. Helsinki. 31.03.2020. (24.05.2021).
10. 4500205960/Pärnu CHP Plant-project, 10HLB20AN001. (2009). Tehniline dokument. Koja Oy. 17 lk (11.02.2021).
11. Engineering ToolBox, (2003). Fan Affinity Laws. [online]: [www.engineeringtoolbox.com/fan-affinity-laws-d\\_196.html](http://www.engineeringtoolbox.com/fan-affinity-laws-d_196.html) (20.05.2021).
12. 4500205960/Pärnu CHP Plant-project, 10HNF10AN001. (2009). Tehniline dokument. Koja Oy. 18 lk (11.02.2021).
13. P&I-Diagram, combustion air system, Primary air. (2010). Tehniline dokument. Andritz recovery division (17.05.2021).

14. 4500205960/Pärnu CHP Plant-project, 10HTC10AN010. (2009). Tehniline dokument. Koja Oy. 21 lk (15.02.2021)
15. 10LCB21\_22AP001, Datasheet. (2009). Tehniline dokument. KSB Finland Oy. 6 lk (15.05.2021).
16. 2012 Price list. (2012). Hinnakiri. Sodeca. 150 lk. [on-line].  
[https://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/RU/TF01\\_price\\_list\\_2012EN.pdf](https://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/RU/TF01_price_list_2012EN.pdf)  
(22.05.2021)
17. Katlamaajade maksumuse, tehnilise lahenduse ja tegevuskulude eksperthinnang. (2009-2010). Uuringu aruanne. Konkurentsiamet. 38 lk. [on-line].  
[https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/05\\_katlamajade\\_maksumuse\\_tehnilise\\_lahenduse\\_ja\\_tegevuskulude\\_eksperthinnang\\_15.03.11\\_.pdf](https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/05_katlamajade_maksumuse_tehnilise_lahenduse_ja_tegevuskulude_eksperthinnang_15.03.11_.pdf) (22.05.2021).

## SUMMARY

Pärnu cogeneration plant was constructed in 2010 and cost almost 86 mlj. euros. This cogeneration plant uses biofuels like woodchips, sawdust and wood waste from production produced by local businesses. Cogeneration plants electricity generation is 24 MW and heat generation is 45+5 MW. Electricity is sold to Nordpool market and heat is transferred to consumers via Fortum owned district heating network. District heating network is about 90 km long and supplies about 890 costumers and 18 000 households in Pärnu. The annual production is roughly 170 GWh of power and 220 GWh of heat energy. Powerplant uses cogeneration technology and fluidised bed steam boiler is used for production. Pärnu cogeneration plant uses Distributed Control System and devices like pumps and air fans are controlled through Variable Frequency Drives with Profidrive communication system.

For analysis, five different devices were selected. These devices were Primary- and secondary air fans, recirculation air fan, fluegas suction fan and district heating second heat exchanger condensate level regulation pumps. For each device, their working princibles and nominal parameters are described. In addition, charts representing device operation parameters and optimization options for each device are presented. The parameters at which the device is operating at and that are used to create the charts, are collected throughout the year using powerplants digital archive. Devices, their systems and the problems with said devices are very different and thus can be the suggested optimization options very different. Regarding the primary air fan, it was found that the device only works at 30-60% of its nominal power and thus it doesn't use its full potential. On secondary air fan, some modifications were made during last powerplants maintenance, where air preheaters were exchanged in the system. Said reconstruction reduced airflow resistance and thus energy usage for the device decreased 21%. Recirculation fan system could be optimized by removing a pressure sensor from the system. That would reduce the energy usage of the device by 4%. Flue gas suction fan was constructed, so a flue gas scrubber could be added to the system. During the construction of this bachelor thesis the district heating heat

exchanger condensate level pumps were reconfigured, so the energy consumption of the pumps decreased 21%.

Third chapter is the summary analysis chapter and it explains in more detail the information gathered throughout the thesis, which is then used to calculate the financial value, if the suggested or already applied optimization options were to be implemented. For primary air fan a too powerful device was selected, meaning the current device is operating around 40-50% below its nominal capacity. A way smaller thus cheaper device could have been selected, saving at least 15 000 euros. Reconstruction for secondary air fan system reduced energy consumption about 21%, annually saving as much as 31 000 euros. Recirculation air fan optimization suggestion could decrease energy consumption 3,7% saving about 3400 euros a year. Flue gas suction fan was projected so a flue gas scrubber could be added to the system, which would increase the heat production of the cogeneration plant about 15 MW. This would allow more heat to be transported, thus increasing the amount of consumers and increasing profit. District heating second heat exchanger condensate pump optimization decreased the device production cost about 11 490 euros.

The aim of this bachelor thesis was successfully fulfilled. Various optimization options to reduce costs and increase productivity were found. Thesis found that optimizing smaller devices like district heating second heat exchanger pumps could save up to 11 000 euros a year. Addition to that, it is possible to save up to 3400 euros a year by eliminating a pressure sensor from recirculation gas system. This means that entire production system should be examined to find further optimization options. Even if minor optimization options are applied, a large number of said minor optimizations can save a lot of energy and thus money.



**LISAD**

**Lisa 1.** Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (avaldamise tähtajatu piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Uku Põllu,  
sünniaeg 08.06.1999,

1) annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Pärnu koostootmisjaama põhiseadmete analüüs,  
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on Lauri Hänni, Toivo Kabanen

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sh digitaalarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2) olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3) kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Uku Põllu (allkirjastatud digitaalselt)  
(allkiri)

Tartu, 28.05.2021  
(kuupäev)

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.**

Luban lõputöö kaitsmisele.

Lauri Hänni (allkirjastatud digitaalselt)	28.05.2021
(juhendaja nimi ja allkiri)	(kuupäev)

Toivo Kabanen (allkirjastatud digitaalselt)	28.05.2021
(juhendaja nimi ja allkiri)	(kuupäev)